doi:10.13866/j.azr.2019.03.01

青藏高原5—10月地表潜热通量与青海同期降水之间的关系①

祁　艳[1,2]，　颜玉倩[2,3]，　李金海[1,2]，　陈汶江[4]

（1. 青海省气象台,青海　西宁　810001；2. 青海省防灾减灾重点实验室,青海　西宁　810001；
3. 青海省气象科学研究所,青海　西宁　810001；4. 成都信息工程大学,大气科学学院,四川　成都　610225）

摘　要: 利用1981—2015年ERA-Interim再分析资料和青海省43个观测站气象资料,采用气象经验正交函数分解(EOF)、相关分析法及合成分析等方法,对青藏高原(以下简称高原)5—10月地表潜热通量的时空分布特征及其与青海省同期降水之间的关系进行了分析,结果表明:① 高原地表潜热通量第1模态空间分布主要呈现高原东西部变化不一致的特征,青海东北部、高原西部和南部地区表现为正异常,其余地区为负异常;第1模态时间系数呈现显著下降趋势,并以2001年为界,前正后负,表明青海东北部及高原西部和南部地表潜热通量在2001年以前(后)增加(减少)。② 高原地表潜热通量与青海省东北部降水存在显著的负相关关系,当高原地表潜热通量增加(减少)时,青海省东北部降水减少(增加)。③ 将通过0.1显著性检验的区域作为研究二者之间关系的关键区(35.0°~38.5°N,98°~103.0°E),以1个标准差为依据,挑选潜热通量高值年和低值年。结果表明,关键区内地表潜热通量在近35 a表现为显著下降的趋势,潜热通量高值年关键区降水增加,潜热通量低值年关键区东北部降水减少,其余地区降水增加,且在南部存在大于60 mm正异常中心;在潜热通量高(低)值年,关键区位势偏低(高),风速偏大(小),关键区南部水汽辐合较弱(强)。通过分析100 hPa南亚高压中心强度与300 hPa温度场,在地表潜热通量异常偏高(低)年,南亚高压强度略低(高),300 hPa暖中心略低(高),且南亚高压初上(撤离)高原较早。

关键词: 地表潜热通量; 降水; 南亚高压; 大气环流; 青海; 青藏高原

青藏高原是世界上面积最大、海拔最高、地形最复杂的高原,其平均海拔在4 000 m以上,面积为2.4×10^6 km^2,享有“世界屋脊”之称;不但拥有广袤的冰川、积雪与冻土,还孕育了黄河、长江、湄公河等7条重要的亚洲河流,是著名的“亚洲水塔”[1]。因此,高原的动力作用和热力作用得到了学者们的广泛关注。高原热力作用主要由近地层大气加热引起,因此,湍流感热和潜热通量的作用就显得尤为重要,随着高原上观测资料及再分析资料的不断丰富,对高原地表热通量的研究也越来越深入[2]。大量研究表明高原潜热通量与积雪、降水密切相关,由于受到不同大气环流系统的控制,青藏高原东部主体部分与青藏高原北坡地表潜热通量年际变化并不一致,高原潜热通量的时空分布呈现东大西小的特征,这可能与高原东部地表植被丰富、植被覆盖率较高有关[3-5]。

由于潜热主要由蒸发提供,所以降水是影响潜热通量的关键因素之一,讨论降水与高原地表潜热通量之间的关系非常必要。关于地表潜热通量与降水之间关系的研究较多,但大部分研究集中讨论了海洋表面潜热通量和我国东部降水的关系[6-10],刘娜等[6]对热带东太平洋地表潜热通量和我国夏季降水的关系进行了探讨,当热带太平洋地区的潜热通量减少时,我国夏季降水在20世纪70年代以后长江中下游及华南地区夏季降水明显偏多,东北、华北地区夏季降水明显偏少;胡雪等[7]认为黄淮地区降水与太平洋前期春季潜热场相关性较好;卢萍等[8]用数值模式敏感性试验证明了地表潜热通量和四川盆地降水有着密切的联系。青海省位于青藏高原东部,其地理位置特殊,是气候变化的敏感区、生态环境的脆弱区以及天气系统的上游区,因此对地表潜热变化的响应也十分敏感[11],关于青海省降

① 收稿日期: 2018-07-30; 修订日期: 2018-11-06
基金项目: 青海省气象局面上项目“青藏高原5—10月地表潜热通量与青海同期降水之间的关系”资助
作者简介: 祁艳(1983-),女,工程师,主要从事中短期天气预报工作
通讯作者: 颜玉倩. E-mail:yan_yq1113@sina.com

水的研究也较多[12]，但高原地表潜热通量与之降水相互关系的探讨较少。张浩鑫等[3]指出，从气候平均看，高原地表潜热通量在夏季最大，且大于地表感热通量，5—9 月地表潜热通量占总地表热通量的 50% 以上。综上，笔者考虑了高原东部降水的相态[13]以及年际地表潜热通量出现的高值时间段，选择 5—10 月作为研究的重点，探讨高原地表潜热通量与青海省同期降水二者之间的关系。为青海省降水的气候预报预测提供新思路、新方法，为合理配置资源进行农业生产和经济建设提供科学依据。

1 资料与方法

本文所使用的资料包括：① 1981—2015 年高原区域（70°～105°E，25°～45°N）欧洲中心 ERA-Interim 月平均地表潜热通量资料，空间分辨率 1°×1°[14-16]。潜热通量单位为 $W \cdot m^{-2}$，且规定当地面向大气释放能量时，潜热通量为负[17]。② 1981—2015 年青海省 50 个国家站日降水资料。③ 1981—2015 年欧洲中心 ERA-Interim 月平均位势高度、比湿、水平风场资料，空间分辨率 1°×1°。

采用 EOF（经验正交函数分解）来揭示青藏高原近 35 a 5—10 月地表潜热通量的时空分布特征，相关分析法及合成分析法讨论高原地表前热通量与青海省同期降水之间的关系。

另外，考虑定义一个潜热通量与降水的关键区，但青海省地域广阔，站点稀疏，为消除关键区内只有少数几个站点的情况，故采用欧洲中心 ERA-Interim 日降水资料作为代用，空间分辨率为 0.5°×0.5°。为评估再分析资料的可用性，图 1 给出站点资料（克里金插值）与再分析资料空间分布，二者在空间分布上基本相似，近 35 a 主要呈现由北向南递增的特征，实况降水在东部、北部地区略偏多于再分析资料，表明再分析资料可替代站点资料。在合成分析中依旧采用站点资料。

2 地表潜热通量时空分布特征

表 1 给出 5—10 月高原地表潜热通量（标准化）EOF 分解前 4 模态方差贡献率。由表 1 可得出，前 2 个模态的方差贡献在 10% 以上，第 1 模态方差贡献率明显大于后面 3 个模态，表明收敛速度较快，能较好地解释地表潜热通量的时空特征。以下将着重分析前 2 个模态的时空特征。

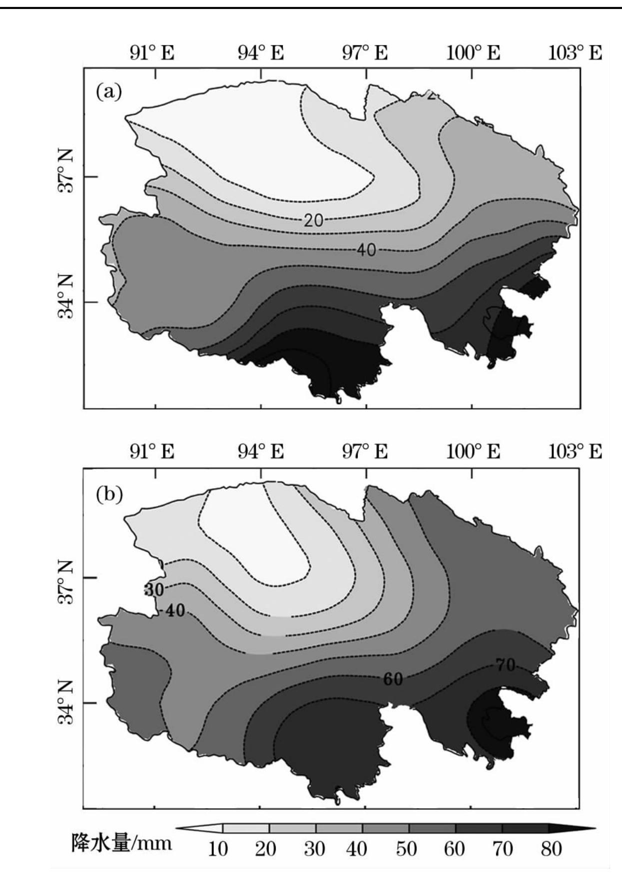


图 1 近 35 a 降水再分析资料（a）和实况（b）资料对比

Fig. 1 Comparison between the reanalyzed (a) and observed (b) precipitation data in recent 35 years

表 1 地表潜热通量 EOF 方差贡献

Tab. 1 EOF variance contribution for surface latent heat flux

模态	方差贡献/%	累积方差贡献/%
1	30.05	30.05
2	11.12	41.17
3	8.36	49.53
4	6.35	55.88

图 2 和图 3 分别给出了第 1 和第 2 模态的空间分布型及时间系数变化。高原地表潜热通量第 1 模态空间分布主要呈现高原东西部变化不一致的特征，高原东北部、西部和南部少数地区表现为正异常，其余地区为负异常；第 1 模态时间系数呈现显著下降趋势，并且时间系数以 2001 年为界，2001 年以前时间系数为正，2001 年以后时间系数为负，与张浩鑫等[3]得出高原地表潜热通量在 2003 年发生了年代际转折的结论基本一致。结合第 1 模态空间分布，青海东部及青藏高原西部地表潜热通量在 2001 年以前（后）增加（减少）；除上述地区外，高原其他区域在 2001 年以前（后）地表潜热通量减少（增

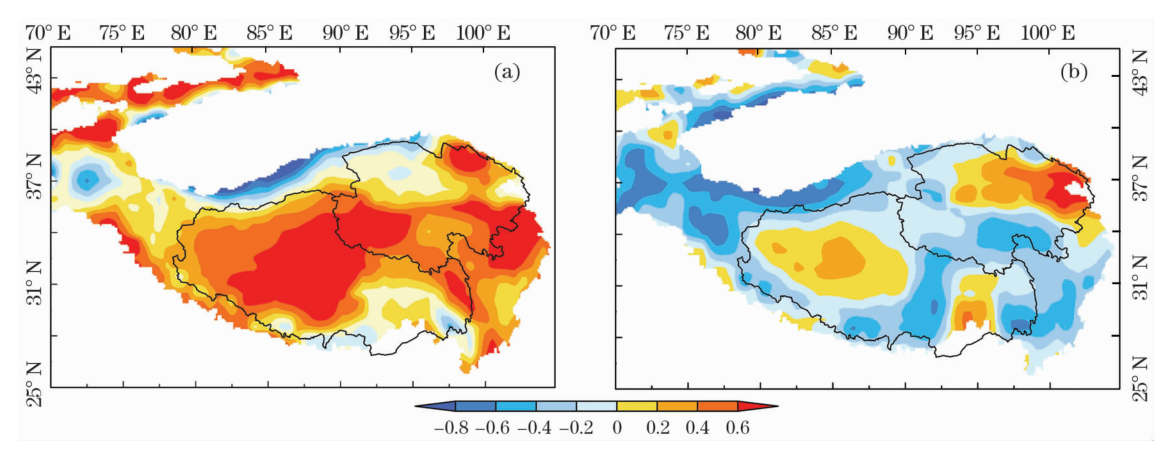


图2　地表潜热通量第一、二模态空间分布特征

Fig. 2　Spatial distribution of first order mode and second order mode of surface latent heat flux

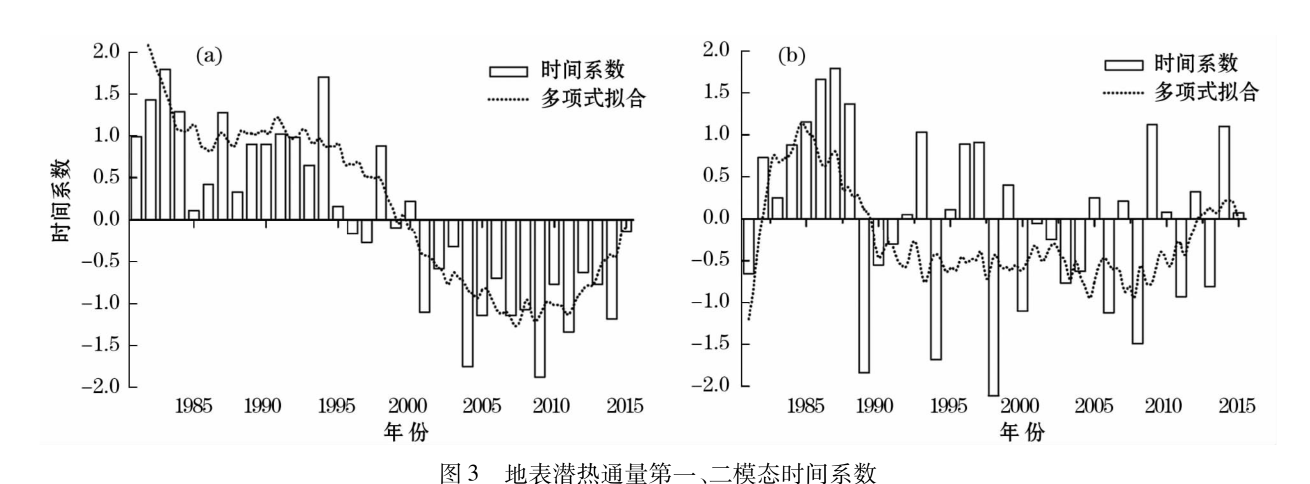


图3　地表潜热通量第一、二模态时间系数

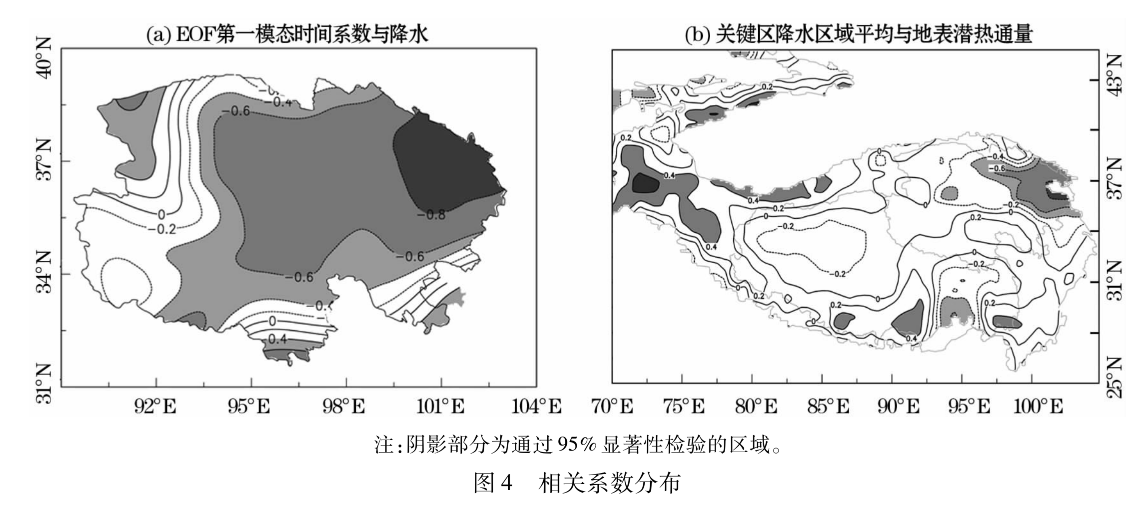
Fig. 3　Time coefficients of first order mode and second order mode of surface latent heat flux

加)。高原地表潜热通量第2模态空间分布主要呈现全区一致的分布型,正异常中心位于青藏高原中部、青海省东北部及四川省西北部,这种分布型可能与冻土的退化有关[18];第2模态时间系数总体趋势略有下降但不显著,从20世纪90年代后持平,主要表现为系数正负交替出现,更多的反映潜热通量变化极值年份:1987年、1989年、1994年和1998年。由于高原地表潜热通量正交展开后第1模态方差贡献最大,在以下的分析中,以第1模态为主。

3　地表潜热通量与青海降水之间的关系

潜热通量是地表热量进入大气的重要方式,其大小变化将影响到大气中水汽的含量,水汽作为一种温室气体,大气中水汽含量的多少又与大气的热量息息相关,水汽输送的路径及强弱又会对降水产生大的影响。反过来,陆地表面温度的变化会通过影响陆—气的湿度差,加强或减弱潜热通量。为讨论青海省降水与高原地表潜热通量之间的关系,用EOF第1模态时间系数与青海省1981—2015年平均降水量做相关分析(图4)。

由图4a可以看出:除青海省西北部及南部少数地区外,降水和高原地表潜热通量之间主要呈现负相关关系,其负相关的高值区在青海东北部,其相关系数高达-0.8。为验证并进一步分析青海省降水与高原地表潜热通量之间的关系,用EOF第1模态时间系数与青海省1981—2015年平均降水量相关的高值区(如图4a中的虚线框)的区域平均降水与全高原地表潜热通量做再次相关。如图4b所示(阴影部分代表通过了90%的显著性检验的区域),正高相关区主要在高原西北部,负高相关区位于高原东北部,其位置与首次相关的负高相关区一致,表明青海省东北部与高原地表潜热通量确实存在负相关关系,并将此区域(图4b虚线框:35.0°~38.5°N,98°~103.5°E)定义为高原潜热通量与青海省降水



注:阴影部分为通过95%显著性检验的区域。

图4 相关系数分布

Fig. 4 Distribution of correlation coefficients

的关键区。

对关键区近35 a 5—10月地表潜热通量做区域平均,由于地表潜热主要由水分相变产生,包括地表水分蒸发作用、植物蒸腾作用,因而能量都是来自地面向大气传递,根据资料的规定,负值代表从地表向大气传输能量,从而研究的时间段及地区均为负值。

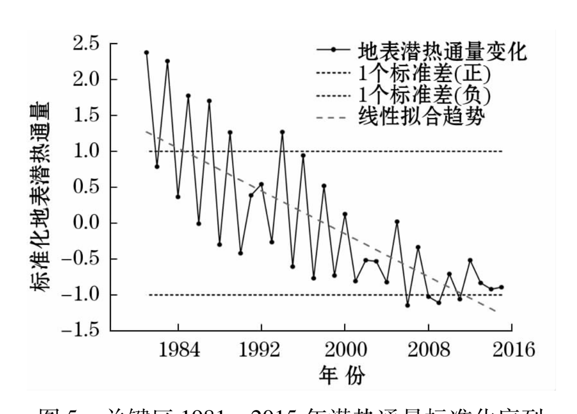
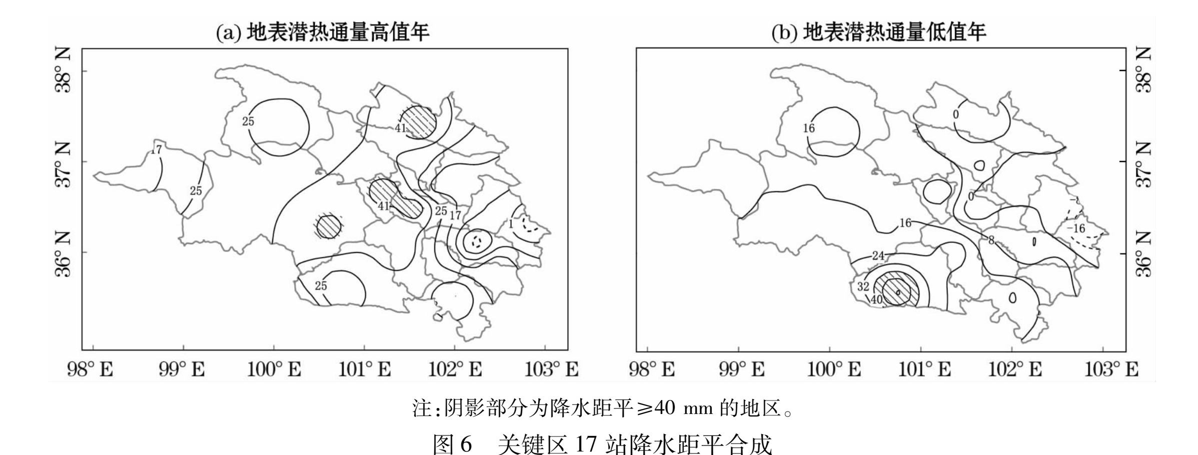


图5 关键区1981—2015年潜热通量标准化序列

Fig. 5 Normalized sequence of latent heat flux in the key area from 1981 to 2015

图5所示的平均数据首先取其绝对值以消除了符号(方向)的影响,其次做标准化处理。由图5可得:从1981—2015年关键区地表潜热通量显著下降(通过了 F 检验),这与高原地表潜热通量EOF第1模态时间系数变化趋势一致。以1个标准差为依据,分别选出关键区地表潜热通量高值年和低值年,高值年分别为:1981年、1983年、1985年、1987年、1989年和1994年;低值年分别为:2006年、2008年、2009年和2011年。挑选处于关键区内的所有站点(17站),分别对高值年和低值年做近35 a 5—10月降水合成距平,如图6所示。

由于地表潜热通量与关键区降水呈负相关关系,因而近35 a当地表潜热通量减少时,关键区降水增加,这种趋势与许多学者的结论一致[19]。但关键区内降水的增量有明显的地域差异,由图6看出,地表潜热通量高值年除2个站点外,降水全区以正异常为主,其空间分布主要表现为以中部最大,依次向东西部递减。地表潜热通量低值年关键区降水异



注:阴影部分为降水距平≥40 mm的地区。

图6 关键区17站降水距平合成

Fig. 6 Anomaly composite of precipitation at 17 stations in the key area

常分布型主要表现为从西南向东北依次递减的状态,其南部的正异常中心异常值可达60 mm以上。综上所述,潜热通量高值年全关键区降水增加;潜热通量低值年关键区东北部降水减少,其余地区降水增加,且最大异常值较高值年明显。

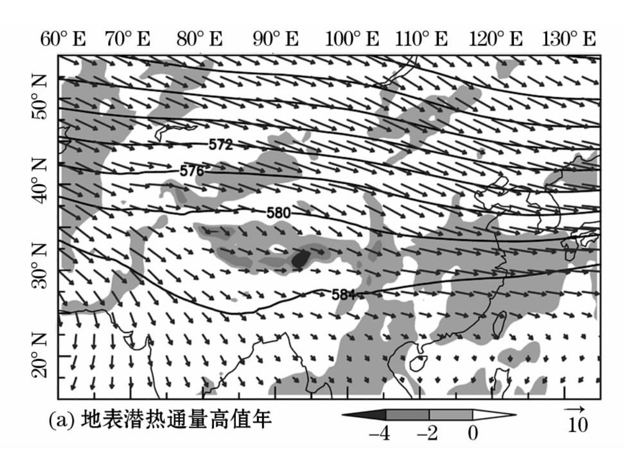
4　高原地表潜热通量异常年份大气环流特征

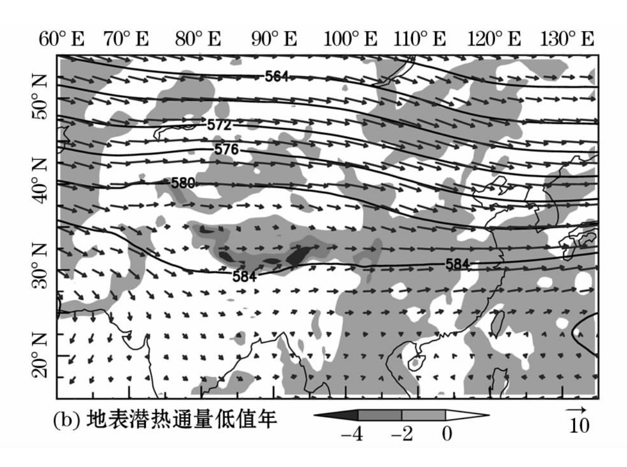
4.1　500 hPa环流场与水汽场特征

根据以上分析得出,在潜热通量高值年和低值年,关键区降水存在明显差异,这可能与大气环流和水汽输送有着密切的关系。一方面潜热通量异常会引起地表向大气输送水汽异常,从而影响降水及潜热的释放;另一方面潜热通量异常是后期大气环流及天气气候变化的关键因素[20]。大气环流可作为降水和地表潜热通量的中间介质,为进一步理解地表潜热通量是如何影响降水的,基于以上讨论,图7给出了地表潜热通量高值年和低值年5—10月500 hPa位势高度场叠加风场合成图。由图7可得,在地表潜热通量高值年青海省整体位势高度偏低,关键区内风速偏大,较大的风速加快了蒸发作用和蒸腾作用,从而使得地表潜热通量增大,青海的风向为西北气流;在地表潜热通量低值年,关键区内风速偏小,较小的风速使得蒸发作用和蒸腾作用缓慢,地表潜热通量减小,但从风向上来看,青海北部依然为西北气流,而在南部有较弱的西南气流,西南气流携带来自孟加拉湾的水汽,在青海玉树南部交汇,此处亦为水汽通量散度辐合的高值区。从阴影部分的面积来看,潜热通量低值年水汽辐合区较多于地表潜热通量高值年。因此,在位势高度较低、风速较大的潜热通量高值年,关键区降水异常偏多,但无降水极大值点;在位势高度偏高、风速较小的潜热通量低值年,关键区降水变化呈现地域性差异,既有增加又有减少,但由于较强的水汽辐合,使得关键区南部形成降水正异常极大值点。

4.2　南亚高压变化及300 hPa温度场

南亚高压是夏季北半球对流层上层最稳定、最强大的高压系统,也是高低纬环流系统间相互作用和相互影响的纽带[21]。南亚高压在夏季是热力性高压系统,具有斜压性,其季节的演变与大气热力作用的变化密切相关。其位置的变化与高原季风紧密相关,对高原气候的形成有重要影响[22]。因此,图8给出了关键区地表潜热通量异常偏高年和异常偏低年100 hPa位势高度场与300 hPa温度场,由图8看出,100 hPa南亚高压中心与300 hPa温度场暖中心配置较好。暖中心位置略比高压中心位置偏南,地表潜热通量高值年与低值年相比较,就高压中心强度(中心强度指1 660 gpm等值线范围内最大位势高度值[23])而言,地表潜热通量高值年要略低于低值年,且300 hPa暖中心温度也略高于低值年,但这种规律表现的并不明显。大量研究表明,南亚高压移上高原早、迟的差异,与夏季大气环流的演变及我国雨带的分布有密切联系。根据张菁等[24]的研究,南亚高压移上、撤出高原的时间如表2,从中可以发现,当关键区地表潜热通量异常偏高时,南亚高压初上高原较早,当关键区地表潜热通量异常偏低时,南亚高压撤离高原较早。可能的原因是南亚

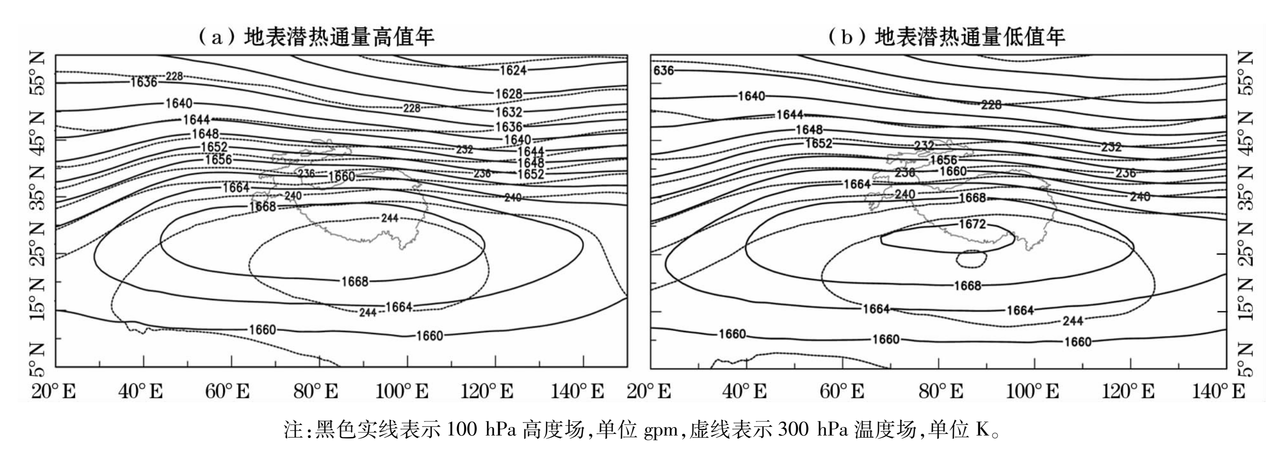




注:黑色实线表示高度场,单位gpm,阴影区域表示水汽辐合区,单位10^{-4} g·m^{-2}·s^{-1}。

图7　500 hPa天气背景场合成

Fig. 7　Composite analysis of 500 hPa weather background field



注：黑色实线表示 100 hPa 高度场，单位 gpm，虚线表示 300 hPa 温度场，单位 K。

图 8　位势高度场及温度场合成

Fig. 8　Composite analysis of height field and temperature field

表 2　南亚高压上下高原早晚年份[23]

Tab. 2　Established or retreated dates of South Asian High over the Qinghai-Tibetan Plateau

	初上高原	撤离高原
早年	1981，1982，1984，1985，1987，1988，1990，1991，1994，1998，2000，2006，2010，2011，2012，2013	1981，1982，1985，1986，1993，1994，1995，1996，1997，1999，2001，2002，2003，2004，2006，2008，2009，2011，2012
晚年	1992，1993，1996，1997，1999，2005，2007，2009	1983，1987，1989，1990，1991，1998，2000，2011

高压初上（撤离）高原较早，同时对应高原夏（冬）季风建立的时间也较早，对应关键区降水偏多（少）。

5　结 论

（1）对高原地表潜热通量做气象正交展开（EOF），高原地表潜热通量第 1 模态空间分布主要呈现高原东西部变化不一致的特征，高原东北部、西部和南部少数地区表现为正异常，其余地区为负异常；第 1 模态时间系数呈现显著下降趋势，青海东部及青藏高原西部地表潜热通量在 2000 年以前（后）增加（减少）；除上述地区外，高原其他区域在 2000 年以前（后）地表潜热通量减少（增加）。高原地表潜热通量第 2 模态空间分布主要呈现全区一致的正异常分布型；第 2 模态时间系数更多地反映了潜热通量变化极值年份：1987 年、1989 年、1994 年和 1998 年。

（2）用高原地表潜热通量 EOF 第 1 模态时间系数与青海省降水做相关，除青海省西北部及青海省南部少数地区外，降水和高原地表潜热通量之间主要呈现负相关关系，其负相关的高值区在青海省东北部，以该区区域平均降水与高原地表潜热通量做递进相关，再次证明降水和地表潜热通量之间存在负相关的关系，并将通过 0.1 的显著性检验的区域作为研究二者之间关系的关键区（35.0°～38.5°N，98.0°～103.0°E）。

（3）关键区内地表潜热通量在近 35 a 表现为显著下降趋势，以 1 个标准差为依据，挑选潜热通量高值年和低值年；潜热通量高值年全关键区降水增加，潜热通量低值年关键区东北部降水减少，其余地区降水增加，且在关键区西南部有明显的降水异常值中心。

（4）在潜热通量高（低）值年，关键区位势偏低（高），风速偏大（小），水汽辐合区偏少（多），通过分析 100 hPa 南亚高压中心强度与 300 hPa 温度场，在地表潜热通量异常偏高（低）年，南亚高压强度略低（高），300 hPa 暖中心略低（高），且南亚高压初上（撤离）高原较早。

参考文献（References）：

〔1〕　王静，何金海，祁莉，等. 青藏高原土壤湿度的变化特征及其对中国东部降水影响的研究进展〔J〕. 大气科学学报，2018，41（1）：1－11.〔Wang Jing，He Jinhai，Qi Li，et al. The variation characteristics of soil moisture in Tibet Plateau and its influences on the precipitation in Eastern China：Recent progress〔J〕. Transactions of Atmospheric Sciences，2018，41（1）：1－11.〕

〔2〕　Michio Yanai，Li C F，Song Z S. Seasonal heating of the Tibetan Plateau and its effects on the evolution of the Asian summer monsoon〔J〕. Journal of the Meteorological Society of Japan：Ser. II，1992，70（1B）：319－351.

〔3〕　张浩鑫，李维京，李伟平，等. 春夏季青藏高原与伊朗高原地表热通量的时空分布特征及相互联系〔J〕. 气象学报，2017，75（2）：260－274.〔Zhang Haoxin，Li Weijing，Li Weiping，et al.

Spatial and temporal distribution characteristics of surface heat fluxes over both Tibetan Plateau and Iranian Plateau in boreal spring and summer and their relationships〔J〕. Acta Meteorologica Sinica, 2017,75(2):260－274.〕

〔4〕 董敏,朱文妹,徐祥德,等. 青藏高原地表热通量变化及其对初夏东亚大气环流的影响〔J〕. 应用气象学报,2001,12(4):458－468.〔Dong Min,Zhu Wenmei,Xu Xiangde,et al. The variation of surface heat flux over Tibet Plateau and its influences on the east asia circulation in early summer〔J〕. Quarterly Journal of Applied Meteorology,2001,12(4):458－468.〕

〔5〕 张杰,李栋梁. 青藏高原夏季凝结潜热时空分布特征分析〔J〕. 地学前缘,2009,16(1):326－334.〔Zhang Jie,Li Dongliang. Evaluation and analysis of latent heat in Qinghai-Xizang Plateau〔J〕. Earth Science Frontiers,2009,16(1):326－334.〕

〔6〕 刘娜,王彰贵,凌铁军,等. 热带太平洋潜热通量变化及其与我国夏季降水的关系〔J〕. 海洋预报,2012,29(6):50－57.〔Liu Na,Wang Zhanggui,Ling Tiejun,et al. Variations of latent heat flux in the equatorial Pacific and its relation to the anomalous summer rainfall patterns in China〔J〕. Marine Forecasts,2012,29(6):50－57.〕

〔7〕 胡雪,王文,李理. 太平洋潜热通量及其与黄淮夏季降水的关系〔J〕. 气象科技,2015,43(3):482－487.〔Hu Xue,Wang Wen,Li Li. Latent heat flux over Pacific and its relationship with summer precipitation in Huanghuai Region〔J〕. Meteorological Science and Technology,2015,43(3):482－487.〕

〔8〕 卢萍,宇如聪. 地表潜热通量对四川地区降水影响的数值分析〔J〕. 高原山地气象研究,2012,28(3):1－7.〔Lu Ping,Yu Rucong. Numerical analysis on the impacts of surface latent heat flux transport on Sichuan rainfall process〔J〕. Plateau and Mountain Meteorology Research,2012,28(3):1－7.〕

〔9〕 单永强,任保华,齐义泉,等. 西太平洋－南海地区潜热通量长期变化趋势的南北差异及成因分析〔J〕. 气候与环境研究,2016,21(4):467－478.〔Shan Yongqiang,Ren Baohua,Qi Yiquan,et al. The North-South contrast of long-term trend of latent heat flux in West Pacific-South China sea and the possible mechanism〔J〕. Climatic and Environmental Research,2016,21(4):467－478.〕

〔10〕 王宏娜,陈锦年,左涛. 印度洋潜热通量对南海夏季风爆发的影响〔J〕. 热带气象学报,2014,30(1):189－193.〔Wang Hongna,Chen Jinnian,Zuo Tao. Impact of latent heat flux over the Indian ocean on the onset of South China Sea summer monsoon〔J〕. Journal of Tropical Meteorology,2014,30(1):189－193.〕

〔11〕 韩辉邦,马明国,马守存,等. 近30 a青海省植被变化及其气候驱动因子分析〔J〕. 干旱区研究,2017,27(5):1 164－1 174.〔Han Huibang,Ma Mingguo,Ma Shoucun,et al. Vegetation change and its driving climatic factors in Qinghai Province in recent 30 years〔J〕. Arid Zone Research,2017,27(5):1 164－1 174.〕

〔12〕 董喆,贺康宁,王根柱,等. 北川河流域降水与NDVI变化特征及其对径流的影响〔J〕. 干旱区研究,2018,35(2):287－295.〔Dong Zhe,He Kangning,Wang Genzhu,et al. Variation of precipitation and vegetation NDVI and their effects on stream flow in the Beichuan River Basin〔J〕. Arid Zone Research,2018,35(2):287－295.〕

〔13〕 龙柯吉,王佳津,郭旭,等. 四川省降水相态识别判据研究〔J〕. 高原山地气象研究,2016,36(3):57－65.〔Long Keji,Wang Jiajin,Guo Xu,et al. Research on discrimination criterion of precipitation types in Sichuan Province〔J〕. Plateau and Mountain Meteorology Research,2016,36(3):57－65.〕

〔14〕 竺夏英,刘屹岷,吴国雄. 夏季青藏高原多种地表感热通量资料的评估〔J〕. 中国科学 D:地球科学,2012,42(7):1 104－1 112.〔Zhu Xiaying,Liu Yimin,Wu Guoxiong. An assessment of summer sensible heat flux on the Tibetan Plateau from eight data sets〔J〕. Scientia Sinica(Terrae),2012,42(7):1 104－1 112.〕

〔15〕 何冬燕,田红,邓伟涛. 三种再分析地表温度资料在青藏高原区域的适用性分析〔J〕. 大气科学学报,2013,36(4):458－465.〔He Dongyan,Tian Hong,Deng Weitao. Applicability analysis of three reanalysis surface temperature data over the Tibetan Plateau〔J〕. Transactions of Atmospheric Sciences,2013,36(4):458－465.〕

〔16〕 Cui Yang,Wang Chenghai. Comparison of sensible and latent heat fluxes during the transition season over the Western Tibetan Plateau from reanalysis datasets〔J〕. Progress in Nature Science,2009,6(1):719－726.

〔17〕 颜玉倩,高庆久,朱克云,等. 北半球夏季地表潜热通量时空分布与中国夏季降水之间的关系〔J〕. 成都信息工程学院学报,2015,30(5):498－504.〔Yan Yuqian,Gao Qingjiu,Zhu Keyun,et al. The characteristic of spatial and temporal distribution of the surface latent heat flux in summer and its relationship to the summer precipitation in China〔J〕. Journal of Chengdu University of Information Technology,2015,30(5):498－504.〕

〔18〕 高荣,董文杰,韦志刚. 青藏高原季节性冻土的时空分布特征〔J〕. 冰川冻土,2008,30(5):740－744.〔Gao Rong,Dong Wenjie,Wei Zhigang. The features of temporal and spatial distributions of seasonal frozen soil in the Tibetan Plateau〔J〕. Journal of Glaciology and Geocryology,2008,30(5):740－744.〕

〔19〕 王涛,罗艳,钟亦鸣,等. 西北与华北地区现代降水变化趋势的对比〔J〕. 水文,2017,37(1):58－65.〔Wang Tao,Luo Yan,Zhong Yiming,et al. Comparison of recent precipitation tendency between Northwest and North China〔J〕. Journal of China Hydrology,2017,37(1):58－65.〕

〔20〕 刘嘉慧敏,张文君,何金海,等. 前期春季西北太平洋潜热通量与中国南方秋季降水的联系及其可能的物理机制〔J〕. 气象学报,2015,73(2):305－317.〔Liu Jiahuimin,Zhang Wenjun,He Jinhai,et al. Relationships between the prophase spring latent heat flux anomalies in the Western North Pacific and autumn rainfalls over South China and its possible physical mechanism〔J〕. Acta Meteorologica Sinica,2015,73(2):305－317.〕

〔21〕 苏东玉,李跃清,蒋兴文,等. 南亚高压的研究进展及展望〔J〕. 干旱气象,2006,24(3):68－74.〔Su Dongyu,Li Yueqing,Jiang Xingwen,et al. Research advance on the South Asia high〔J〕. Arid

Meteorology,2006,24(3):68－74.〕

〔22〕 汤懋苍. 高原季风的年代际振荡及其原因探讨〔J〕. 气象科学,1995,15(4):64－68.〔Tang Maocang. Discussion on inter-decade oscillation of plateau monsoon and its causes〔J〕. Scientia Meteorologica Sinica,1995,15(4):64－68.〕

〔23〕 张琼,钱永甫,张学洪. 南亚高压的年际和年代际变化〔J〕. 大气科学,2000,24(1):67－78.〔Zhang Qiong,Qian Yongfu Zhang Xuehong. Interannual and interdecadal variations of the South Asia High〔J〕. Chinese Journal of Atmospheric Sciences,2000,24(1):67－78.〕

〔24〕 张菁,范广洲,赖欣,等. 南亚高压上下高原时间及其与高原季风建立早晚的关系〔J〕. 气象科学,2017,37(1):30－40.〔Zhang Jing,Fan Guangzhou,Lai Xin,et al. Establishment or retreatment average date of South Asian high over the Tibetan Plateau and its relation with the Tibetan Plateau monsoon onset〔J〕. Journal of the Meteorological Science,2017,37(1):30－40.〕

Relationship Between Surface Latent Heat Flux over the Qinghai-Tibetan Plateau and Precipitation in Qinghai from May to October

QI Yan[1,2], YAN Yu-qian[2,3], LI Jin-hai[1,2], CHEN Wen-jiang[4]

(1. *Qinghai Meteorological Observatory*, *Xining* 810001, *Qinghai*, *China*;

2. *Qinghai Province Key Laboratory for Disaster Prevention and Mitigation*, *Xining* 810001, *Qinghai*, *China*;

3. *Qinghai Institute of Meteorological Science*, *Xining* 810001, *Qinghai*, *China*;

4. *School of Atmospheric Science*, *Chengdu University of Information and Technology*, *Chengdu* 610225, *Sichuan*, *China*)

Abstract: In this study, the ERA-Interim reanalysis data and the observation data from 43 meteorology stations in Qinghai Province from 1981 to 2010 were used. The purposes of the study were to analyze the spatial and temporal distribution characteristics of the surface latent heat flux (short for slhf) over the Qinghai-Tibetan Plateau and its relationship with precipitation in Qinghai from May to October using the method of EOF (Empirical orthogonal functions), correlation analysis and composite analysis. The result showed that: ① The spatial distribution of first order mode of slhf was different in the eastern and western regions of the plateau, the anomaly was positive in northeast Qinghai and the western and southern regions of the plateau but negative in other areas. The time coefficient of first order mode was in a significant downward trend, it was positive before 2001 but negative after that, which revealed that the slhf in northeast Qinghai and the western and southern parts of the plateau increased before 2001 but decreased after that; ② There was a significant negative correlation between the slhf over the plateau and the precipitation in northeast Qinghai Province. When the slhf over the plateau was increased (or decreased), the precipitation in northeast Qinghai was reduced (or increased); ③ The area where it passed the significance test of 0.1 was regarded as the key area (35.0°－38.5°N, 98°－103.0°E) to study the relationship between the two, and 1 standard deviation was used to select the high-value years and low-value years of slhf. The results revealed that the slhf in the key area in recent 35 years was in a significant decrease trend, the precipitation in the key area was increased in the high-value years of slhf, it was decreased in the northeastern part of the key area but increased in other regions, and there was a 60 mm positive anomaly center in the south; ④ In the high-value (or low-value) years of slhf, the potential of the key area was low (or high), the wind speed was high (or low), and the water vapor convergence was weak (or strong) in the south of the key area. Analysis of the intensity of the 100 hPa South Asian High Center and the 300 hPa temperature field revealed that the intensity of the South Asian High and the 300 hPa warm center were slightly lower (or higher) in the years when the slhf was abnormally high (or low), and the establishment (or retreat) of South Asian High was earlier.

Key words: Qinghai-Tibetan Plateau; surface latent heat flux; Qinghai; precipitation; South Asian High; atmospheric circulation